

船外実験プラットフォーム（曝露部）実験施設を用いた太陽放射光の生物影響研究

日出間 純（東北大），高橋 昭久（群馬大），小林 憲正（横国大），鈴木 雅雄（放医研），
永松 愛子（JAXA），大西 武雄（奈良県医大）

Research of biological effect on plants by solar radiation using exposure area at ISS platform

Jun Hidema, Akihisa Takahashi, Kensei Kobayashi, Masao, Suzuki, Aiko Nagamatsu,*

Takeo Ohnishi

*Grad. Sch. Life Sci., Tohoku University, Sendai, Miyagi 980-8577

E-Mail: j-hidema@m.tohoku.ac.jp

Abstract: The environment in space which is exposed to solar radiation (space radiation and solar ultraviolet [UV] radiation) is greatly different from the environment on Earth, and this has large effects on the survival of living organisms. However, the solar radiation environment in space cannot be recreated on Earth. The Exposed Facility (EF) of Kibo on the International Space Station has attracted much attention as (1) a laboratory for the space radiation environment that is encountered during extravehicular activities. Since it provides an environment where sunlight is not blocked by the ozone layer, it has also attracted attention as (2) a laboratory for modeling the primordial Earth light environment before the ozone layer formed, (3) a laboratory for verifying chemical evolution reactions in a space environment, and (4) a laboratory for modeling the future Earth light environment after destruction of the ozone layer, and there has been great anticipation of advanced analysis in research into the biological effects of solar radiation by using the EF. Extravehicular exposure experiments have previously been conducted using dried biological specimens as samples. However, experiments in space that expose active organisms are essential for investigating the biological effects of solar radiation. We therefore propose a Japanese-led project to develop the world's first extravehicular radiation exposure apparatus capable of controlled life support, and to use this apparatus to perform exposure experiments and high precision analysis on small plants, microorganisms, insects, and chemical substances while in the active state. The results from this proposal will not only be important for safe human exploration of space, but could also shed light on questions regarding chemical evolution, the origin of life, and the evolution of living organisms which posits that life was formed by solar UV energy. Furthermore, it could make it possible to predict the limits of viability of various living organisms in the light environment of the future after destruction of the ozone layer, which would have a tremendous impact not only on the scientific fields in which the research results are obtained but also on society. The expense for the fabrication (four billion yen [forty million dollars]) is supported by Science Council of Japan, "Large Facility Scale Research Project Master Plan 2014"

Key words; Solar radiation, Space experiment, International space station, Exposed facility, Radiation biology

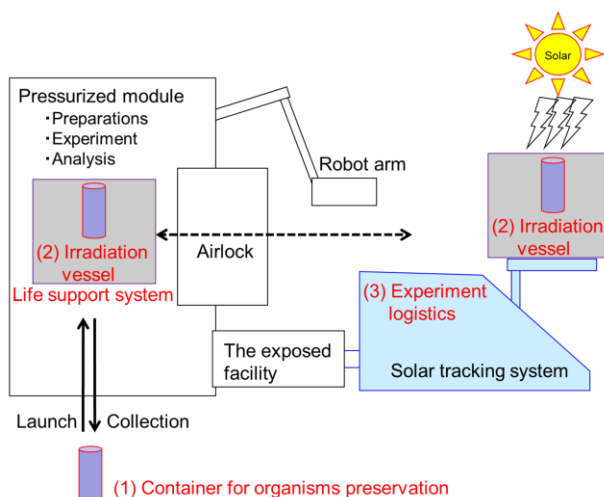
1. はじめに

【目的】太陽放射光（宇宙放射線・太陽紫外線）の宇宙環境は地球上とは大きく異なり、生物の生存に大きな影響をもたらす。しかし、宇宙空間における太陽放射光環境は、地上では再現することが出来ない。国際宇宙ステーション「きぼう」船外実験プラットフォームは①船外活動時の宇宙放射線環境の実験場として注目されている。また、オゾン層で太陽光が遮られない環境であるため、②オゾン層形成前の

原始地球光環境のモデル実験場、③宇宙環境下での化学進化反応の検証実験場、④オゾン層破壊後の未来地球光環境のモデル実験場としても注目されており、曝露部利用による太陽放射光生物影響研究の高度化解析が大いに期待されている。船外曝露実験は、これまでも乾燥した生物試料を材料に実施されている。しかし、太陽放射光の生物影響を調査するためには、活動状態の生物に曝露する宇宙実験が必要不可欠である。そこで我々は、日本主導のもと、世

界初の生命維持制御を可能にした船外曝露照射装置を開発し、本装置を利用して、活動状態を維持した微生物、昆虫、小型植物等や、化学物質への曝露実験、高精度解析を実施するプロジェクトを提案している。

【プロジェクト概要】実験の流れとしては、①各種試料を打上げ、②船内で照射箱にセットし、③船外パレットに取り付け、④一定期間曝露した後、⑤回収し、⑥船内または地上にて解析の実施という6段階の手順を想定している。まず、2017年度までに実験装置として**生物保存容器**、選択的な太陽放射光の曝露が可能な各種フィルターを搭載した**生命維持機能装備照射箱**（表1参照）、船外パレットの3つのユニットを作製したいと考えている（図1参照）。なお、照射箱は生命維持環境モニタの設置を計画しており、陰影時の放熱低減、デブリによる紫外線透過窓破損軽減のために太陽光曝露時のみ開放する蓋を装備する（図2参照）。船外パレットには照射箱取付け板、太陽追尾機構、経緯儀起動機構、起倒式支柱起動機構が必要であるが、これらの設計はJAXAで既に開発されたものを適用でき、特に、太陽追尾システムはICS、伸展機構はSEDA-APでの技術が利用する。これらの装置の打ち上げには船外パレット搭載専用の運搬用荷物台がある我が国のHTVの利用を考えている。初回以降は生物保存容器のみHTVを利用して打上げ、ソユーズやドラゴンを利用して回収することを想定している。



存率、DNA 損傷生成率、突然変異誘発率、修復能、増殖率、形態・分化異常発生率、遺伝子・タンパク

図1 曝露実験装置の概要

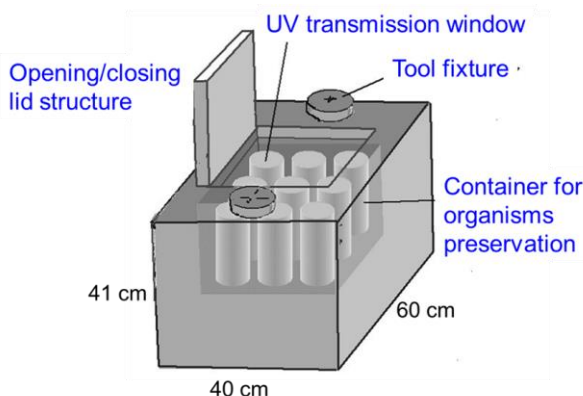


図2 照射箱の概略図

表1 生命維持機能装備照射箱仕様の概要

Items	Function	Requested value	Methods	Remarks
Pressure control	Pressure control	100±5 kPa	-Circulation by the fan -Supply by N ₂ tank for loss	
	O ₂ conc. control	21±2 kPa	-Supply by O ₂ tank for loss	
	CO ₂ conc. control	0.02-0.5%	-Release overboard by a vacuum film separation method	CO ₂ conc. Control by bypass valve method
Harmful gas removing	Remove ethylene	≤ 1ppm	-Adsorption removal with the palladium chloride active carbon agent	Apply to plant experiments
	Others	TBD	-Using activated carbon adsorption etc.	Coping individual demand
Moisture control	Moisture control	20-80%RH	-Supply the water from tank to housing space	
	Dew condensation prevention of UV transmission window	Prevent the cloud and dew condensation	-Dry air spraying to the window inside -Warming with the heater of lid opening/closing inside	
	Dry air	Dew-point ≤ -5°C	-Dehumidification by the cooling condensation -Water removal by the centrifuging	Reusing the recycled water
Thermal control	Disposal of the incident solar energy	Housing space: exhaust 20W Opening: exhaust 56W	-Adjustment of the circulation wind velocity	
	Maintain a temperature	4.42°C (±1°C)	-Adjustment of the circulation wind velocity	Cooling by the Peltier element
	Heat insulating and a temperature keeping	Suppressing heat dissipation in shadow	-Set up a heater by the cover inside	

【想定している宇宙実験】

活動状態の生物（微生物、昆虫、小型植物等）や化学物質を、培養措置に各種フィルターを装着した曝露装置を開発・利用し、船外において太陽紫外線、宇宙放射線を曝露する。各生物体、化学物質がどのような応答を示すのかを、導入予定の新規宇宙実験装置（最先端生命科学に对应した5種の新規研究設備・蛍光顕微鏡等）を用いて、有機物生成、生

質発現変化、生体成分（タンパク質を含む）の細胞内動態等を調査する。これらの宇宙実験を通して**化学進化、生命体誕生、生命体進化の解明**を研究する。

【科学技術的な意義】

1. これまでシャトルの内部での重粒子・中性子・γ線の測定が行われてきた。しかし、今後ステーション外活動も増し、特に太陽の黒点活動と太陽放射光の生物測定がより必要となることが予想される。宇宙ステーション曝露部を利用することで、それぞれの粒子の総和と微小重力による、相乗的な生物影響があるのか否かを解明することができる。
2. これまで地上および人工光源を用いて実験をする限り、地球のオゾン層破壊後またはオゾン層形成前の生物影響について確かめる方法がなかった。この壁を打破するには、唯一、宇宙ステーション曝露部を利用することである。
3. 我々の提案した曝露部実験装置に各種フィルターを用いることで、太陽放射光の波長と強度の影響、微小重力との相互作用を同時に検討することが可能

となる。

4.各種生命体に太陽放射光を照射することによって、生命体がオゾン層形成後に陸上進出したか否かを想定することができる。さらに、地球のオゾン層破壊後のそれぞれの生命体の生育限度を知ることができる。

本提案で得られる研究成果は、科学分野のみならず、社会へのインパクトも絶大であることは、言うまでもない。

【「きぼう」で実施する必要性】

オゾン層の減少は予測できても、地上での人工光源を用いて実験をする限り、地球のオゾン層破壊後またはオゾン層形成前の異なった線質・線量の複合の放射線環境による生物影響について確かめることができない。このジレンマについて、我々は、オゾン層で太陽光が遮られることのない宇宙空間こそが、原始地球上生命の誕生と進化の舞台となった「オゾン層形成前の原始地球光環境」、さらに、近年危惧されている「オゾン層破壊後の未来地球光環境」のモデル実験場と考え、宇宙ステーション「きぼう」の曝露部を利用することで解決することができると思われる。

また、近い将来、人類は宇宙に進出し、長期滞在、船外活動の機会はずっと増えるであろう。人類が安全に宇宙に進出し活動するためには、地上では再現できない、複合放射線（生物学的効果の高い重粒子線も含めて、線種・線質も異なる放射線）による細胞内分子レベルでの影響過程の解明し、真の放射線のリスクを統合的に正しく評価して、放射線障害から免れる防護方法の開発は必須かつ緊要である。この命題に対しても、船外曝露部の利用は必要不可欠である。

日本の主導のもと、宇宙ステーション曝露部利用実験は、人類の安全な宇宙進出に重要であるだけでなく、生命は太陽紫外線エネルギーによって創生されたという生命誕生のドラマと進化の原動力であったことを明らかにするとともに、オゾン層破壊後の未来の地球光環境の及ぼす生物影響を考察することが出来るであろう。そして、現在の環境問題からも地球を守るのにいかに重要であるかを示すことができるであろう。引いては広くアジア・欧米にも開かれた利用価値のある汎用性に富んだ装置開発と宇宙実験を実現させていきたい。

「地球は青かった」、ロシア宇宙飛行士ガガーリン大佐による人類史上初の宇宙飛行は、これまでの概念をくつがえす衝撃的なインパクトを与えた。それまで地球から宇宙を見ていた人類が、宇宙から地球を見ることで、地球も宇宙の一部であることを実感させられたのである。健やかなる地球の維持は21世

紀の人類に課せられた命題でもある。宇宙船地球号がいつまでも健やかであれと望む気持ちは、人類が地球外に進出した時に始めて実感するものなのかも知れない。

【おわりに】

本提案プロジェクトならびに装置の開発は、日本学術会議「大型施設・大型規模研究計画（マスタープラン2014）」採択課題の一部であり、是非とも装置を開発し、宇宙実験が行われることを強く希望している。